

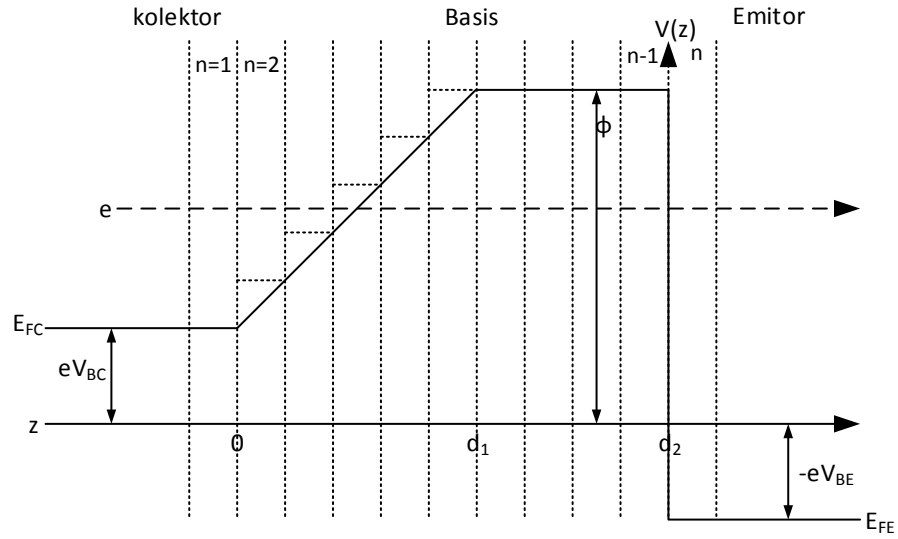
BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode semi numerik dimana koefisien transmisi didapatkan dengan menyelesaikan persamaan Schrodinger menggunakan MMT karena metode ini dalam pengerjaannya lebih sederhana dan mudah bagi pemula, kemudian metode ini lebih mudah diimplementasikan pada hampir semua jenis perangkat lunak bahasa pemrograman (Monsoriu. et al., 2005). Metode ini juga telah dibuktikan lebih akurat dibandingkan dengan metode beda hingga konvensional (Hasanah. dkk., 2008). Kemudian perhitungannya dibantu menggunakan perangkat lunak bahasa pemrograman *Mathematica 7.0*. Perangkat lunak ini dipilih karena mudah digunakan untuk yang pengetahuan bahasa pemrogramannya masih sedikit. Perhitungan rapat arus terobosan didapatkan dengan menggunakan metode *Gauss Legendre Quadrature* dengan bantuan perangkat lunak bahasa pemrograman *Mathematica 7.0*.

3.1 Perhitungan Transmittansi Elektron

Pada mode aktif-maju, sambungan basis-emitor diberikan panjar maju V_{BE} dan sambungan basis-kolektor diberikan panjar mundur V_{BC} sehingga bentuk potensialnya menjadi seperti pada gambar 2.6. Sedangkan untuk mode aktif-mundur pada sambungan basis-emitor diberikan panjar mundur V_{BE} dan pada sambungan basis-kolektor diberikan tegangan panjar maju V_{BC} sehingga emitor dan kolektor bertukar fungsi menyebabkan bentuk potensialnya menjadi seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bentuk potensial transistor dwikutub berbasis $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ anisotropik jenis n-p-n mode aktif-mundur yang dibagi n bagian

Persamaan matematika untuk profil potensial transistor dwikutub mode aktif-mundur pada gambar 3.1 diatas adalah

$$V(z) = \begin{cases} eV_{BC} & z < 0 \\ eV_{BC} + \left(\frac{\Phi - eV_{BC}}{d_1}\right)z & 0 \leq z < d_1 \\ \Phi & d_1 \leq z < d_2 \\ -eV_{BE} & z > d_2 \end{cases} \quad (3.1)$$

Bilangan gelombang k_1 untuk daerah I pada $z \leq 0$

$$k_1 = \left(\frac{2m_0}{\hbar^2} \frac{1}{\alpha_{zz,1}} (E_z - eV_{BC}) \right)^{1/2} \quad (3.2)$$

Bilangan gelombang k_m untuk daerah II potensial pada $0 < z < d_1$ dinyatakan dengan :

$$k_m = \left(\frac{2m_0}{\hbar^2} \frac{1}{\alpha_{zz,2}} \left(eV_{BC} + \left(\frac{\Phi - eV_{BC}}{d_1} \right) z \right) - E_z \right) - \frac{1}{\alpha_{zz,2}} \left(\frac{V_e m_0}{\hbar} \right)^2 \sum_{i,j \in (x,y)} \frac{1}{\beta_{ij,1}^2} (\beta_{ij,1} - \beta_{ij,2}) \Big)^{1/2} \quad (3.3)$$

Sedangkan bilangan gelombang k_m untuk daerah II potensial menurun pada $d_1 < z < d_2$ adalah

$$k_m = \left(\frac{2m_0}{\hbar^2} \frac{1}{\alpha_{zz,2}} (\Phi - E_z) \right)^{1/2} \quad (3.4)$$

Kemudian bilangan gelombang k_m untuk daerah II pada $z \geq d_2$ adalah sebagai berikut

$$k_3 = \left(\frac{2m_0}{\hbar^2} \frac{1}{\alpha_{zz,1}} (E_z + eV_{BE}) \right)^{1/2} \quad (3.5)$$

dimana $m = 2, \dots, N - 1$.

Setelah mendapatkan solusi persamaan Schrodinger bebas waktu maka selanjutnya solusi persamaan tersebut diselesaikan menggunakan persamaan kontinuitas dengan menerapkan syarat batas sejumlah $2(N - 1)$ jika daerah solusinya dibagi menjadi N bagian karena berarti jumlah titik antarmuknya ada $N - 1$ buah. Hasilnya kemudian didapatkan dalam bentuk matriks total dimana

$$M_{m(m+1)} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \left[1 + \frac{a_{[m+1]}}{a_{[m]}} \right] e^{(-ik_m + k_{m+1})z} & \left[1 - \frac{a_{[m+1]}}{a_{[m]}} \right] e^{(-ik_m - k_{m+1})z} \\ \left[1 - \frac{a_{[m+1]}}{a_{[m]}} \right] e^{(ik_m + k_{m+1})z} & \left[1 + \frac{a_{[m+1]}}{a_{[m]}} \right] e^{(ik_m - k_{m+1})z} \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

sehingga didapatkan

$$\begin{pmatrix} 1 \\ B_1 \end{pmatrix} = M_{12} \cdot M_{23} \cdot M_{34} \dots M_{N-2} \cdot M_{N-1} \cdot \begin{pmatrix} A_N \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

Dimana hasil perkalian $M_{12} \cdot M_{23} \cdot M_{34} \dots M_{N-2} \cdot M_{N-1}$ yaitu $\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}$. Maka nilai koefisien transmisi adalah

$$t = A_N = \frac{1}{a_{11}} \quad (3.8)$$

Dari persamaan

$$\begin{pmatrix} 1 \\ B_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_N \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

Nilai transmitansi elektron adalah

$$T = \frac{k_N}{k_1} t^* t \quad (3.10)$$

dengan t^* adalah konjugat dari koefisien transmisi t .

3.2 Perhitungan Rapat Arus Terobosan

Setelah mendapatkan nilai transmitansi maka kita bisa menghitung nilai rapat arus terobosan. Nilai rapat arus terobosan didapatkan dengan mentransformasikan terlebih dahulu persamaan rapat arus terobosan pada persamaan (2.23) menjadi bentuk integrasi metode *Gauss Legendre Quadrature* yaitu dari bentuk integral $\int_{-1}^1 f(x)$ menjadi bentuk $\sum_{m=1}^n w_m f(x_m)$ dimana x_m adalah absisan dan w_m adalah faktor pengali (Fousse,2007). Nilai rapat arus terobosan untuk mode aktif-mundur adalah

$$J = \int_0^\infty \frac{qm_0}{2\hbar^3\pi^2} \frac{1}{\alpha_{zz,1}} T(E_z) \left(\int_0^\infty (f_C(E) - f_E(E)) dE_{xy} \right) dE \quad (3.13)$$

$T(E_z)$ adalah nilai transmitansi elektron pada energi longitudinal E_z dan E_{xy} adalah energi transversal. Kemudian $f_E(E)$ adalah fungsi distribusi Fermi pada kontak

emitor dan $f_C(E)$ adalah fungsi distribusi Fermi pada kontak kolektor yang masing-masing adalah

$$f_E(E) = \frac{1}{1 + \exp[(E - E_{FE})/kT]} \quad (3.14a)$$

$$f_C(E) = \frac{1}{1 + \exp[(E - E_{FC})/kT]} \quad (3.14b)$$

dimana

$$\int_0^\infty (f_C(E) - f_E(E)) dE_{xy} = kT \ln \left\{ \frac{1 + \exp[(E - E_{FC})/kT]}{1 + \exp[(E - E_{FE})/kT]} \right\} \quad (3.15)$$

Setelah disubstitusikan maka persamaan 3.13 menjadi

$$J = \frac{qm_0kT}{2\hbar^3\pi^2} \frac{1}{\alpha_{zz,1}} \int_0^\infty T(E_z) \ln \left\{ \frac{1 + \exp[(E - E_{FC})/kT]}{1 + \exp[(E - E_{FE})/kT]} \right\} dE \quad (3.16)$$

E_{FE} adalah energi Fermi pada kontak emitor sedangkan E_{FC} energi Fermi pada kontak kolektor. Dengan menerapkan menggunakan transformasi integral untuk mengubah batas integral maka didapatkan $[0, \infty]$ menjadi $[-1, 1]$ dimana dengan memisalkan terlebih dahulu

$$\begin{aligned} E_{FE} &= E_z + eV_{BE} \\ E_{FC} &= E_z - eV_{BC} \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$E_z = \frac{1+x_i}{1-x_i} \quad (3.18a)$$

$$dE_z = \frac{1}{(1-x_i)^2} dx_i \quad (3.18b)$$

kemudian dimisalkan

$$g(x_i) = T \left(\frac{1+x_i}{1-x_i} \right) \frac{1}{(1-x_i)^2} \ln \left\{ \frac{1 + \exp \left[\left(E - \left(\frac{1+x_i}{1-x_i} \right) - eV_{BC} \right) / kT \right]}{1 + \exp \left[\left(E - \left(\frac{1+x_i}{1-x_i} \right) + eV_{BE} \right) / kT \right]} \right\} \quad (3.19)$$

maka

$$J = \frac{e^2 m_0 k T}{\hbar^3 \pi^2} \frac{1}{\alpha_{zz,1}} \int_{-1}^1 g(x_i) dx_i \quad (3.20a)$$

atau

$$J = \frac{e^2 m_0 k T}{\hbar^3 \pi^2} \frac{1}{\alpha_{zz,1}} \sum_{i=1}^n W_i g(x_i) \quad (3.20b)$$

dan nilai W_i dan x_i didapat dengan mengetikkan perintah “*GaussianQuadratureWeights[124,-1,1]*” pada lembar kerja perangkat lunak *Mathematica*.

3.3 Alur Penelitian

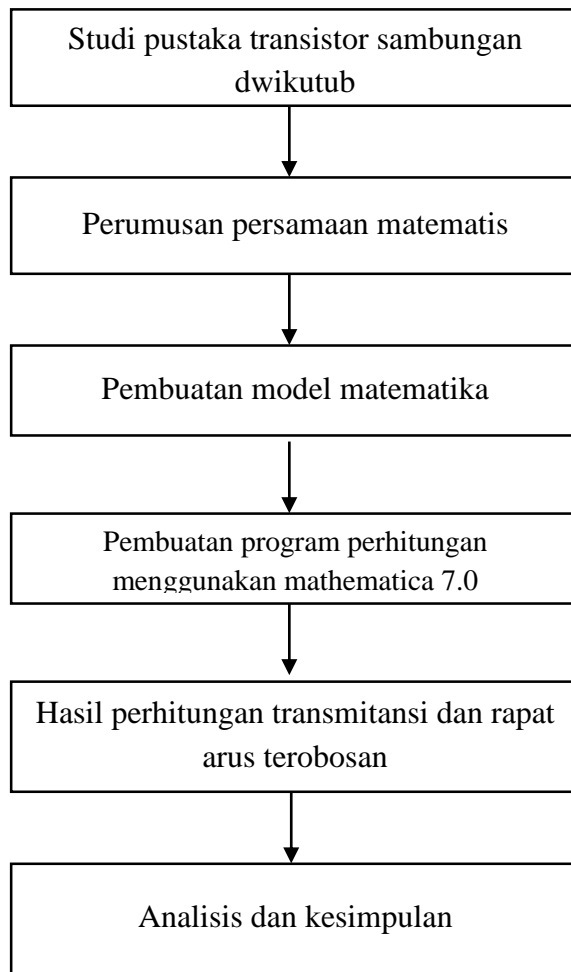
Alur penelitian yang dilakukan dijelaskan seperti di bawah ini:

1. Mempelajari dari berbagai sumber bacaan mengenai transistor sambungan dwikutub dan material $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ sebagai landasan teori.
2. Merumuskan persamaan matematis untuk mencari koefisien transmisi sehingga mendapatkannilai transmitansi elektron dan arus dari transistor sambungan dwikutub berbasis $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ anisotropik untuk kedua mode operasi.
3. Membuat model matematika dari sistem dimana sistemnya adalah perhitungan transmitansi elektron dan arus terobosan.
4. Dari model yang ada dibuat simulasi berupa program perhitungan transmitansi dan arus menggunakan perangkat lunak pemrograman *Mathematica* versi 7.0.
5. Dari program tersebut didapatkan nilai transmitansi elektron dan rapat arus terobosan yang kemudian diolah menjadi bentuk grafik nilai transmitansi terhadap energi datang untuk transmitansi elektron dan

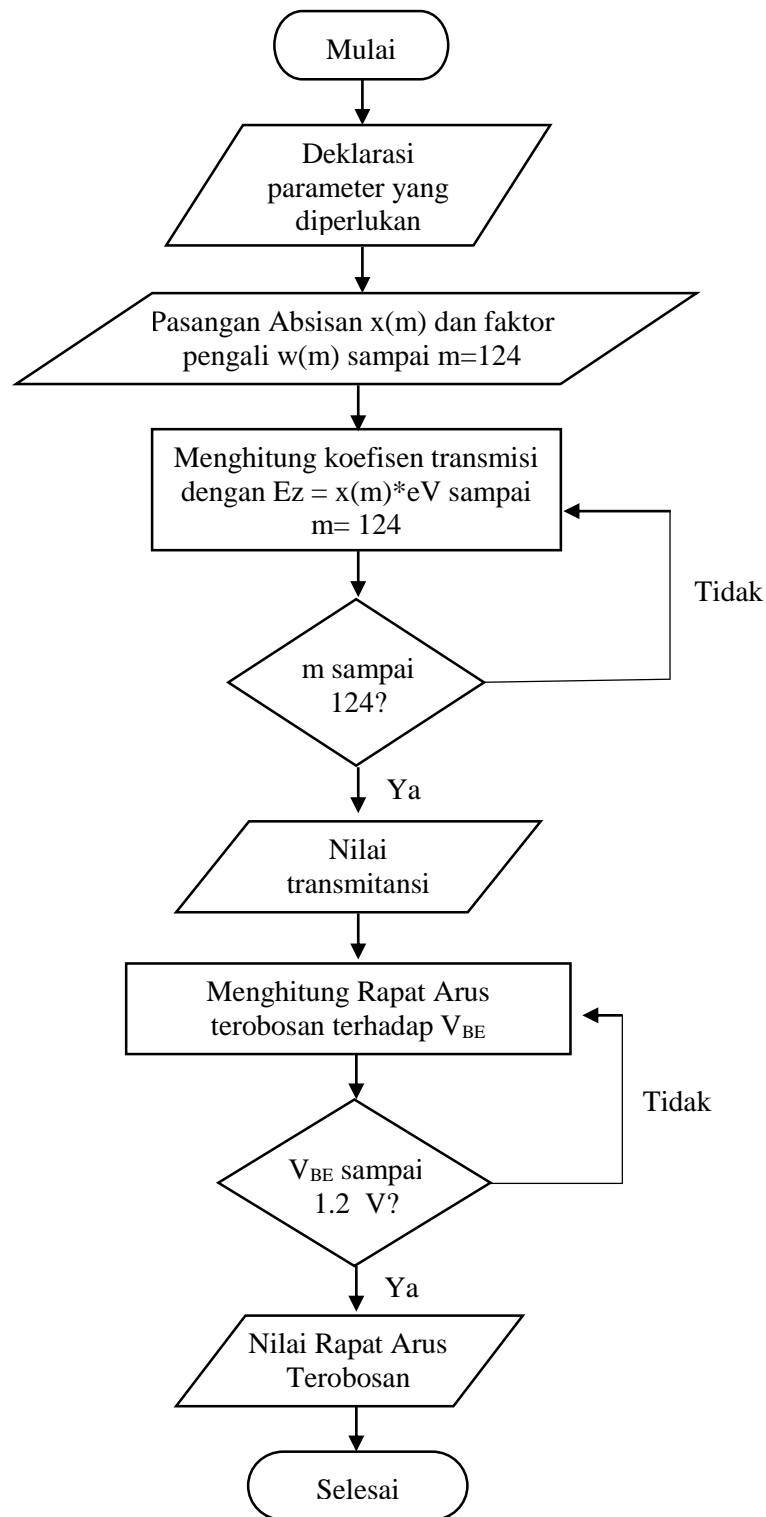
grafik rapat arus terobosan terhadap tegangan panjar V_{BE} atau V_{BC} untuk nilai rapat arus terobosan.

6. Hasil yang didapat kemudian dianalisis dan ditarik kesimpulan.

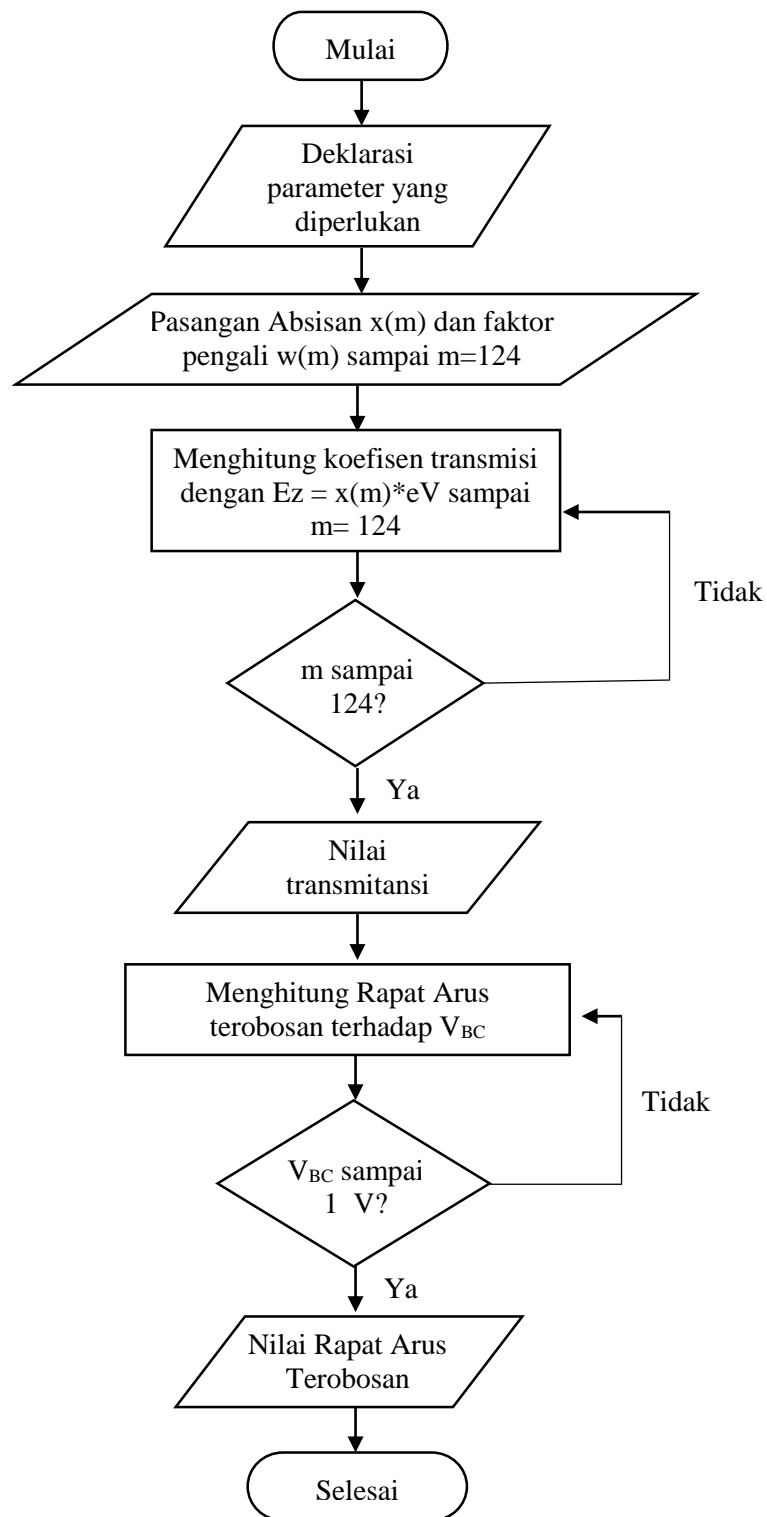
Alur penelitian di atas ditampilkan juga dalam bentuk bagan pada gambar 3.2. Kemudian *Flowchart* program perhitungan rapat arus terobosan ditampilkan pada gambar 3.3. Gambar 3.3a adalah *Flowchart* perhitungan arus terobosan pada mode operasi aktif-maju sedangkan gambar 3.3b adalah *Flowchart* perhitungan rapat arus terobosan pada mode operasi aktif-mundur.



Gambar 3.2. Bagan alur penelitian



Gambar 3.3a *Flowchart* perhitungan rapat arus terobosan mode aktif maju



Gambar 3.3b *Flowchart* perhitungan rapat arus terobosan mode aktif mundur